

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN

O-46/72

UNDERSØKELSE I SAVALEN, ALVDAL

Orienterende undersøkelse av slam- og humuspåvirkning  
i forbindelse med regulering og overføring av vann  
fra Einunna-Fundinmagasinet

Saksbehandlere: Fil.kand. Gösta Kjellberg  
Tekniker Ole Nashoug

Rapporten avsluttet: 25/4-1972

## INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	4
1. INNLEDNING	5
2. GEOLOGISKE FORHOLD I NEDBØRFELTET	5
2.1. Berggrunn	5
2.2. Løsavsetninger	5
3. ARBEIDSOPPLEGG	8
3.1. Feltarbeid	8
3.2. Analysemetodikk	9
3.3. Kort kommentar til de forskjellige parametre	11
4. RESULTATER	22
4.1. Temperatur	22
4.2. Oksygen	26
4.3. Spes. el. ledningsevne	27
4.4. Surhetsgrad (pH)	30
4.5. Farge	30
4.6. Permanganatforbruk (kjemisk oksygenforbruk)	35
4.7. Siktedyp	35
4.8. Tørrstoff og gløderest	38
4.9. Analyse av partikulært materiale	38
5. KONKLUSJON	40
6. GENERELLE ASPEKTER	

TABELLFORTEGNELSE

	Side
1. Savalens og Einunnas nedbørfelt. Nedbørfeltenes areal- og markslagsfordeling	6
2. Savalen 24. og 25. mars 1972. Temperatur °C	23
3. " 24. og 25. " 1972. Spes.el.ledningsevne $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20°C	28
4. " 24. og 25. " 1972. pH-verdier	31
5. " 24. og 25. " 1972. Fargeverdier	33
6. " 24. og 25. " 1972. Permanganattallet $\text{KMnO}_4$ mg O/l	36
7. " 24. og 25. " 1972. Siktedyp og oksygen-observasjoner	37

FIGURFORTEGNELSE

1. Savalens og Einunnas nedbørfelt	7
2. Savalen. Isolinjer for temperatur °C, 24. og 25. mars 1972	24
3. " 7. april 1972. Temperatur °C	25
4. " Isolinjer for spes.el.ledningsevne $\mu\text{S}/\text{cm}$ 24. og 25. mars 1972	29
5. " Isolinjer for pH-verdier, 24. og 25. mars 1972	32
6. " Isolinjer for fargeverdier, 24. og 25. " 1972	34
7. Partikulært materiale i overføringsvannet og i Savalens overflatelag	39
8. Biologiske konsekvenser av en økt slamtilførsel i Savalens overflatelag	44

FORORD

I begynnelsen av april 1972 fikk Norsk institutt for vannforskning (NIVA) en henvendelse fra ordføreren i Alvdal kommune (veterinær Kåre Blystad) om å utføre en mindre undersøkelse av orienterende art i Savalen i Hedmark fylke.

Målsetningen med undersøkelsen skulle være å gi en grov orientering, om og i hvilken grad leire- og humuspartikler som eventuelt ble ført med overføringsvannet fra Fundinmagasinet og nedenforliggende strekninger av Einunna, påvirker vannet og øvrige forhold i Savalen.

Mistanken om at spesielt en øket humustilførsel forelå, var oppstått ettersom kommunen tidligere i løpet av året hadde fått rapporter bl.a. fra folk som hadde fisket i Savalen, at siktedypet (vannets klarhet) var svært redusert og at vannet var blitt brunfarget, samt at disse forholdene skulle være spesielt merkbare i umiddelbar nærhet av det sted hvor overføringsvannet renner ut i Savalen.

Overføringen av vann fra Einunna-Fundinmagasinet til Savalen begynte den 14/9-1971, og en regner med at denne overføringen i fremtiden vil foregå kontinuerlig med varierende vannføring. Overføringstunnelen er beregnet å kunne føre maksimum ca.  $27 \text{ m}^3/\text{s}$ . For å kunne utnytte vannføringen i elven bedre, er det bygget et reguleringsmagasin (Fundinmagasinet) i Unndalen ved Dølliseter. Magasinet har en reguleringsamplityde på 11 meter og et nettomagasininnhold på ca. 60 mill.  $\text{m}^3$ . Det neddemte areal utgjør ca.  $10,5 \text{ km}^2$ .

Savalen blir nå regulert med en senkningsamplityde på 4,7 meter. Ved denne regulering vil ca.  $4,2 \text{ km}^2$  av bunnen direkte bli berørt ved utvasking og periodevis tørrlegging. For nærmere opplysninger om nåværende regulerings- og vannoverføringsaktivitet i samband med Savalen henvises til Reguleringstillatelse av 26. august 1966, Østerdalsskjønnet, del E, utgitt av Glommens og Laagens Brukseierforening og K/L Opplandskraft 1969.

Rapporten er utarbeidet på grunnlag av to befaringer som ble foretatt i månedsskiftet mars-april samtidig med feltobservasjoner og innsamling av materiale.

Oslo, den 25. april 1972.

Gösta Kjellberg

Ole Nashoug

GØK/ken  
27/4-1972

## 1. INNLEDNING

Savalen ligger i Alvdal og Tynset kommuner, ca. 14 km fra Alvdal, i Hedmark fylke. Ved normalvannstand (HRV) har innsjøen en overflate på  $15,4 \text{ km}^2$  og ligger 707,2 m over havet.

Savalens opprinnelige nedbørfelt er lite, ca.  $100 \text{ km}^2$ , og da området er nedbørfattig (spesifikt avløp ca.  $9 \text{ l/s.km}^2$ ), blir den årlige vanntilførsel lav, ca. 28 mill.  $\text{m}^3$ . Ved overføringen av vann fra Einunna har nedbørfeltet til Savalen økt betydelig og omfatter ialt ca.  $667 \text{ km}^2$ . Den årlige vanntilførselen kommer derfor til å øke og kan teoretisk - med utgangspunkt fra et spesifikt avløp på  $14,55 \text{ l/s.km}^2$  for den berørte delen av Einunnas nedbørfelt - beregnes til ca. 280 mill.  $\text{m}^3$ .

## 2. GEOLOGISKE FORHOLD I NEDBØRFELTET

### 2.1. Berggrunn

Berggrunnen innen de to nedbørfelt domineres av basisk kambro-siluriske bergarter. Disse kalkstein, skifer bergarter er mer eller mindre omdannet og finnes som fyllitt og hornblende-glimmerskifer. I Savalens nedbørfelt er det fyllitt og glimmerskiferen som dominerer. Nord-vest for Marsjøen i Einunnas nedbørfelt er det to mindre områder med henholdsvis kvartsrik gneis (Trondhemitt) og gabbro bergarter. Ellers er det glimmerskifer og kvartsrik grønnskifer som utgjør hovedbergarten innen Einunnas nedbørfelt.

### 2.2. Løsavsetninger

Langs hovedtilløpselven i nordenden av Savalen er det noen sand- og grusavsetninger. Områdene rundt sjøen forøvrig domineres av bregrus (morene) i vekslende tykkelse. Denne morene strekker seg oppover liene til ca. 1000 m.o.h., over denne høyde er det vesentlig snauffjell.

Løsavsetningene i Einunnas nedbørfelt består av bresjøavsetninger i

Tabell 1.

Savalen og Einunnas nedbørfelt (overfor overføringstunnellen til Savalen).

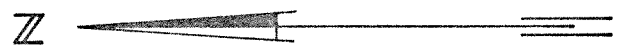
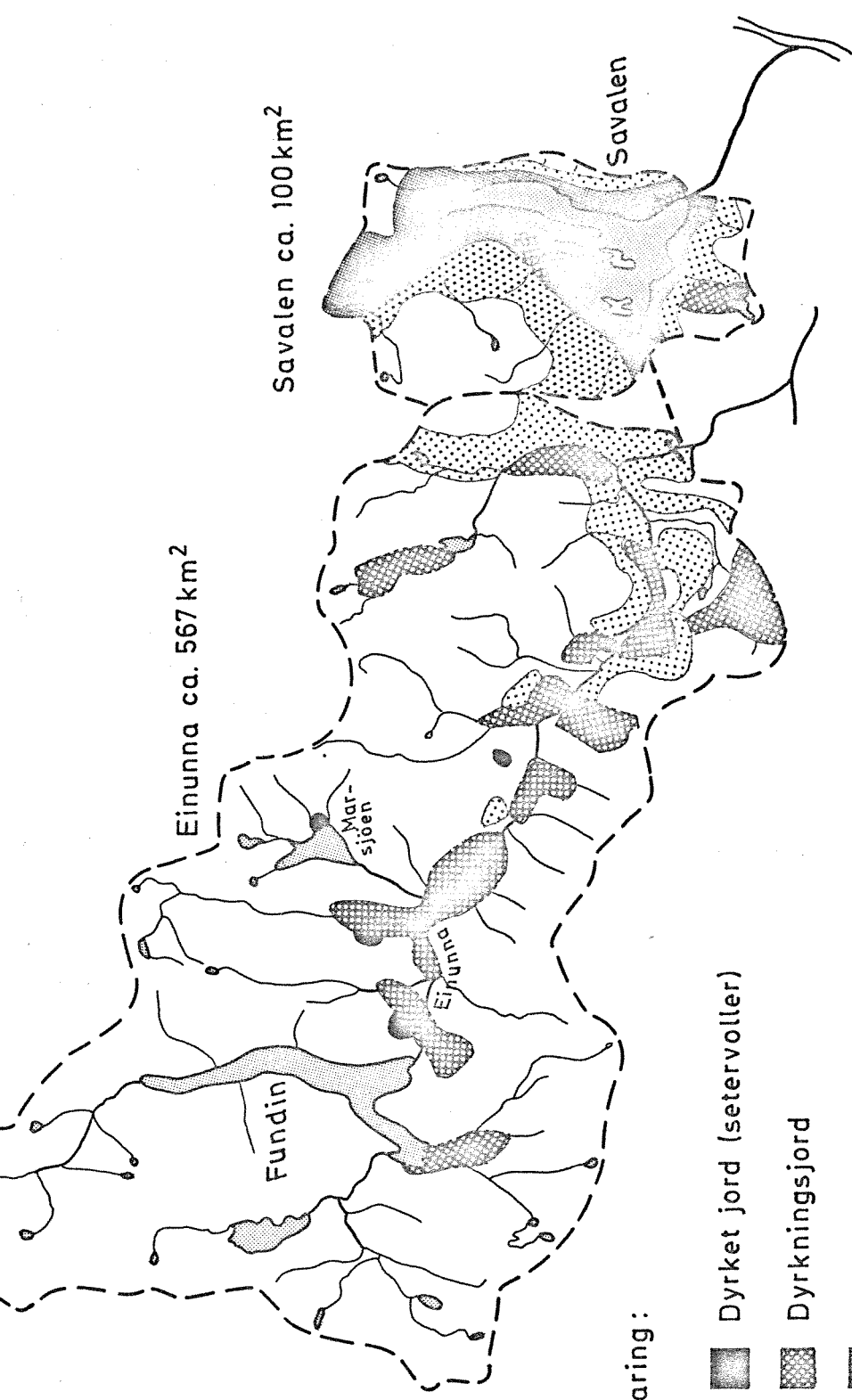
Nedbørfeltene areal og markslagsfordeling:

Markslag	Savalen		Einunna ovenfor overløpet til Savalen	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Dyrket jord (setervoller)	0,2	0,2	1,0	0,2
Dyrkningsjord	3,0	3,0	36,5	6,4
Middelsbonitet (skogbevokst)	32,0	31,9	-	-
Lav bonitet (tresatt)	23,0	23,0	31,0	5,4
Snaufjell (impediment)	27,0	26,9	483,5	85,3
Vann	15,0	15,0	15,0	2,7
Tot. nedbørfelt	100,2		567,0	







Fig. 1

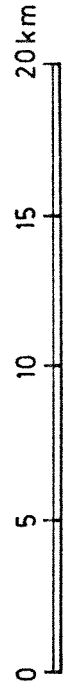
# Savalens og Einunnas nedbørfelt (ovenfor overføringstunnelen til Savalen)

## Markslagsfordeling



### Tegnforklaring:

-  Dyrket jord (setervoller)
-  Dyrkningsjord
-  Middels bonitet (skog)
-  Lav — " — (tresatt)
-  Snaufjell (impediment)
-  Vann



hoveddalen og bregrus og enkelte grusavsetninger i li-sidene. Bresjøavsetningene ligger vesentlig i Einunnadalen (langs Einunna). En del av avsetningene er lagt under vann p.g.a. oppdemningen av Fundinmagasinet. Bresjøsedimentene består av grus, sand og finsand som tildels er dårlig sortert. Disse avsetningene har varierende mektighet og produktivitet, alt avhengig av bergartssammensetning og grunnvannspåvirkning, se fig. 1. Rundt Fundin og langs øvre del av Einunna er det flere større myrområder. De fleste av disse ligger i li-sider og er for en stor del betinget av grunnvannsig.

Limnologisk sett må Savalen betraktes som et typisk oligotroft fjellvann med relativt lavt salt- og næringsinnhold. Innsjøen gjennomgår fire ulike termiske perioder med to sirkulasjonsperioder (vår og høst) og 2 stagnasjonsperioder (vinter og sommer). Vannet, som har et nøytralt preg med pH-verdier omkring 7, var før reguleringen og vannføringen begynte, klart med lite innhold av både organisk og uorganisk stoff. I denne tidsperiode var siktedypet i sjøens sentrale deler omkring 10-13 meter. Ifølge Borgstrøm er vannet relativt kalkrikt, noe som også er å vente ettersom berggrunnen i nedbørfeltet består av omdannede kambro-siluriske sedimentbergarter som bl.a. inneholder kalkstein. Stort sett må innsjøen betraktes som lavproduktiv selv om det relativt høye kalkinnholdet må anses å ha en viss produksjonfremmende effekt. For nærmere opplysninger henvises til Borgstrøms rapporter.

Savalen er kjent for å være et godt fiskevann, selv om fisken er småfallen. Innsjøen har derfor betydning som rekreasjonsområde for den fastboende befolkning og for turister. En hel del hytter finnes i direkte tilknytning til innsjøen.

### 3. ARBEIDSOPPLEGG

#### 3.1. Feltarbeid

Feltarbeidet ble utført i dagene 24. og 25. mars, og kompletterende prøver ble samlet inn den 7. april. Feltundersøkelsene den 24. og 25. mars ble lagt opp slik at temperaturregistreringer og innsamling



av vannprøver for analyse av spesifikk elektrolytisk ledningsevne, surhetsgrad (pH), farge, permanganattall og oksygen ble tatt på flere dyp fra 16 forskjellige stasjoner i selve innsjøen. På disse stasjonene ble også siktedypet målt. I tillegg til dette ble temperaturen registrert og prøver samlet inn fra det vann som via overføringstunnelen ble tilført innsjøen. Prøvene ble tatt like ovenfor innløpet til Savalen.

De forskjellige stasjonenes plassering fremgår av kartene på vedlagte figurer. Et hovedprofil (stasjonene 1-10) ble laget slik at den følger den teoretisk tenkte strømetning fra innløp til utløp. Profilet kommer på denne måten til å dekke Savalens hovedbasseng. Profilet A-E, som ble lagt fra innløpet ut gjennom Sandvika, er ment å klargjøre nærmere strømforholdene ved innløpet. Ifølge opplysninger fra den fastboende befolkning skal hoveddelen av strømmen ved normalvannstand passere her. Stasjon 11, som er plassert i den nordre delen, er ment som en kontrollstasjon da man antar at påvirkningen fra det overførte vannet er mindre merkbar her.

Ved den kompletterende feltundersøkelse den 7. april ble det tatt vannprøver fra 1 og 10 meters dyp ved stasjon 5 for bestemmelse av tørrstoff og gløderest. Videre ble det utført temperaturmålinger langs to tverrprofiler A og B i Savalens sydlige område (se fig. 3) i tilknytning til tidligere nevnte hovedprofil. Dette var for å klargjøre om det muligens kunne oppspores noen strømkonsentrasjon.

Temperatur og siktedyp ble bestemt direkte i felten, de øvrige parametre, unntatt tørrstoff og gløderest som ble bestemt ved NIVAs laboratorium i Oslo, er analysert ved NIVAs Hamar-kontor.

### 3.2. Analysemetodikk

I det følgende er det gitt en kort omtale av de enkelte analysemetoder som ble benyttet. Alle analyser er utført opptil en uke etter at prøvene ble tatt. Prøvene ble samlet inn på plastflasker. Oksygenprøvene ble samlet inn på spesielle glassflasker, og prøvene ble fiksert i felten under prøvetakingen.

### Temperatur

Temperaturen ble målt ved hjelp av vendetermometer og termistor med oppgitt nøyaktighet på  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ .

### Oksygen

Oksygenbestemmelsen er utført ifølge Alsterbergs modifikasjon av Winklers metode. Ved prøvetakingen blir oksygenet fiksert på spesielle glassflasker ved tilsetning av mangan(II)klorid og sterk lut tilsatt kaliumjodid. Analysen foretas ved titrering med natriumthiosulfat etter surgjøring.

Benevning: mg  $\text{O}_2$ /l og %  $\text{O}_2$  i forhold til metning.

### Surhetsgrad (pH) og spesifikk elektrolytisk ledningsevne ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

pH er målt med glasselektrode på Radiometer pH-meter 22. Den spesifikke elektrolytiske ledningsevne er målt med en målebro Philips PR 9501, ved  $20^{\circ}\text{C}$ .

Benevning: Henholdsvis pH og  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### Farge

Vannets farge er målt fotometrisk med standardløsning av platinaklorid og koboltklorid som referanse.

Benevning: mg Pt/l.

### Permanganattall

Permanganattallet er et mål for prøvens innhold av organisk stoff. Prøven surgjøres og tilsettes en kjent mengde kaliumpermanganatløsning, det hele varmes opp i vannbad i 20 minutter. Overskuddet av permanganat blir så bestemt jodometrisk.

Benevning: mg O/l.

### Tørrstoff og gløderest

Med tørrstoff menes tørrvekten av det suspenderte materialet i vann. Tørrstoff bestemmes ved å filtrere et bestemt volum av vannprøven gjennom et glassfiberfilter (Whatman bF/C) som deretter tørkes i en time ved  $95^{\circ}\text{C}$ . Filterets vektøkning er et mål på vannets innhold av suspendert materiale og uttrykkes som mg tørrstoff/l.

Gløderest er den del av tørrstoffet som blir igjen etter at det organiske materialet er blitt forbrent. Glødrerest bestemmes ved at filterresten etter tørrstoffbestemmelsen opphetes til  $490^{\circ}\text{C}$  i en time og deretter veies. Gløderesten angis som mg gløderest/l.

### 3.3. Kort kommentar til de forskjellige parametre

#### Temperatur

Temperaturforholdene (varmeforholdene) påvirker vannets plante- og dyreliv både direkte (stoffomsetning, tilvekst, forplantning osv.) og indirekte (virkninger av f.eks. temperatursjiktning, stagnert vann med oksygenmangel osv.). Temperaturen er derfor en nøkkelparameter når det gjelder innsjøenes og vassdragenes stoffhusholdning. Videre påvirker temperaturen de fysiske-kjemiske prosessene som f.eks. reaksjonshastigheter og metningsverdier for oppløste gasser i vannet - spesielt oksygen.

Ved temperaturmålinger i innsjøer er man spesielt interessert i å få et bilde av de rådende sjiktningforhold. På grunn av at vannets tetthet praktisk talt i sin helhet avhenger av temperaturen slik at tetthetsdifferansen pr. grad øker med stigende temperatur over  $4^{\circ}\text{C}$  eller synkende temperatur under  $4^{\circ}\text{C}$ , oppstår en mer stabil termisk sjiktning jo lengre en viss temperaturgradient ligger fra  $4^{\circ}\text{C}$ .

Våre tempererte innsjøer gjennomgår oftest fire forskjellige termiske perioder pr. år, nemlig 2 sirkulasjonsperioder (vår og høst), da temperaturen ligger nær  $4^{\circ}\text{C}$ , og hele vannmassen ved vindpåvirkning lett kan blandes; og to stagnasjonsperioder da vannmassen p.g.a. den termiske sjiktning inndeles i to hoveddeler (sommer og vinter). I innsjøer som ikke er så utsatt for vindpåvirkning, uteblir ofte vårsirkulasjonen - slike innsjøer sier vi er vårmeromiktiske. Om sommeren har man en stabil lagdeling med relativt varmt vann ovenpå noe kaldere - sommerstagnasjonsperioden. Om vinteren er vannmassene i overflate-laget avkjølt, og vindfaktoren uteblir på grunn av isdekket - da har man altså en stabil lagdeling med kaldt vann ovenpå noe varmere i dypet - vinterstagnasjonsperioden.

Spesielt er stagnasjonsperiodene av limnologisk interesse på grunn av at vannmassene derved deles i to hovedsjikt, et øvre (epilimnion) hvor temperaturforholdene på det nærmeste er ensartet (homoterme), og totalsirkulasjon lett oppstår under vindpåvirkning, og et nedre sjikt (hypolimnion) hvor temperaturforholdene er relativt ensartet (en svakt avtakende gradient mot bunnen om sommeren, og en svakt stigende gradient mot bunnen om vinteren). Dette sjiktet ligger derfor mer eller mindre "låst" under det øvre sjiktet og vil bare kunne påvirkes ved ekstra sterk vindpåvirkning. Normalt er det ikke noen større sirkulasjon og omblending av vannet i dette sjikt. Videre er vannutskiftningen med de ovenforliggende vannmassene meget liten, men på grunn av forandringer i de ytre påvirkningskrefter (vind, lufttrykk, tilløpsvann osv.) er det som regel alltid en viss bevegelse også i de dypere-liggende vannmasser.

Mellom de to vannsjiktene finnes et overgangssjikt (metalimnion termoklin, sprangsjiktet) hvor temperaturkurven har et "infleksjonspunkt", dvs. sterkt heteroterme temperaturforhold. Den resulterende tetthetsgradient er iblant så kraftig at betydelige mengder organisk materiale som synker, kan danne en "falsk bunn" i dette nivå. Ved vindpåvirkning oppstår kompliserte turbulensfenomener i dette sjiktet, som delvis kan forårsake en vannutskiftning mellom de to hovedsjiktene.

Temperaturstudier gir således verdifulle opplysninger særlig om innsjøens dynamikk og for beregning av "varmebudsjett", og er av vesentlig verdi når det gjelder tolkningen av øvrige parametre av fysisk-kjemisk og biologisk natur. Videre er temperaturen en brukbar parameter når det gjelder å studere strømforholdene og ved kartlegging av diverse utslipp.

I dette tilfelle har en benyttet temperaturobservasjoner for å få et bilde av hvordan overføringsvannet blander seg inn i Savalen. Å kjenne temperatursjiktningen er også av stor interesse da en på denne tid hadde stagnasjonsperiode i sjøen.

### Oksygen

Oksygenet er et uunnværlig element for vannets plante- og dyreliv. Oksygeninnholdet er derfor en avgjørende faktor for vannets organismesamfunn. Videre har oksygenet stor betydning for viktige kjemiske

oksydasjons- og reduksjonsprosesser i vannmassene og i bunnsedimentene. Innenfor limnologien spiller oksygenet dessuten en betydelig rolle som indikator for innsjøenes og vassdragenes stoffomsetning.

Ved ren diffusjon skjer oksygenets opptak og transport i stillestående vann ytterst langsomt. (For bare ved diffusjon å mette en 250 m dyp og opprinnelig oksygenfri innsjø med oksygen, ville en trenge ca. 1 million år.) Vannets evne til å ta opp og løse oksygen avtar med stigende temperatur. Oksygenets løselighet i vann ved 30°C er bare vel halvparten av løseligheten ved 0°C. Ved 0°C finner man i mettet vann ca. 14 mg O<sub>2</sub>/l og ved 20°C knapt 9 mg O<sub>2</sub>/l.

Oksygeninnholdet i innsjøer og vassdrag bestemmes av flere faktorer. En økning av oksygenkonsentrasjonen beror for det meste på tilførsler fra luften under vindpåvirkning eller turbulens (f.eks. i en foss) og på planteplanktonets samt bunn- og strandvegetasjonens karbondioksyd-assimilasjon (fotosyntese). Dyr og planters respirasjon og nedbrytning av organisk materiale gir derimot en reduksjon i oksygeninnholdet. Det vil også alltid være et oksygentap til luften. Da disse og flere andre faktorer (bl.a. lufttrykket) avvekslende innvirker på oksygenkonsentrasjonen i vannet, finner man i virkeligheten sjelden den teoretiske metningsverdi (dvs. 100% metning) ved en bestemt temperatur og i en bestemt høyde over havet.

Studiet av vannets oksygeninnhold og metningsverdi i vertikal- (innsjøer) og horisontal- (innsjøer, elver) retning, gir meget verdifulle opplysninger om vannets biologiske stoffomsetning, næringstilgang og organiske belastning.

I den næringsrike (eutrofe) innsjøen er det alltid oksygenmangel i hypolimnion under stagnasjonsperiodene (sommer, vinter), og ofte oksygenoverskudd (metningsverdi over 100%) i overflatesjiktet (epilimnion) i produksjonsperioden om sommeren. Den næringsfattige (oligotrofe) innsjøen viser i sommerstagnasjonsperioden en temmelig jevn oksygenfordeling nær metningsverdien (80-100%) i hele vannmassen, absoluttverdiene (mg/l) øker gjerne nedover mot dypet etter som temperaturen avtar.

I løpet av produksjonsperioden om sommeren utsettes et næringsrikt vassdrag for svingninger når det gjelder oksygeninnholdet. Verdiene er høye, omkring - eller endog over - metningsverdien om dagen når plantenes assimilasjon er høy, og verdiene er lave om natten når respirasjonen overtar.

Om vinteren viser disse vassdragene ofte lave verdier, og i enkelte tilfeller er det fritt for oksygen. Næringsfattige vassdrag har høyt oksygeninnhold som ligger nær eller ved metningsverdien, og det foreligger ingen døgnvariasjon.

Ved at så pass ulike oksygenforhold kan oppstå i våre innsjøer og vassdrag, kan faunaen og floraen i de forskjellige vanntypene komme til å bli forskjellige både med hensyn til artsforekomster, utbredelse og størrelse. Da organismesamfunnet i høy grad påvirker sine omgivelser, kommer derfor de forskjellige innsjøene til å forandres ytterligere med hensyn til næringsinnhold.

Det er spesielt det organiske materiale som tilføres våre innsjøer og vassdrag fra industri (særlig celluloseindustri og visse typer næringsmiddelindustri), jordbruk og kommunalt avløpsvann, som ved mer eller mindre sterk nedbrytning har blitt et alvorlig problem for oksygenbalansen i våre vannforekomster. Observasjoner av oksygeninnholdet i vannet er derfor av sentral betydning når det gjelder studier av disse forhold. For at en vannforekomst skal fungere normalt, regner man med at oksygeninnholdet i innsjøens epilimnion og i et vassdrag ikke bør ligge under 5 mg  $O_2$ /l.

I forbindelse med denne undersøkelsen har oksygenprøvetakingen først og fremst blitt utført for å påvise om det er noe oksygenforbruk i bunnsjiktet. Har en hatt stor tilførsel av humus eller annet organisk materiale til Savalen, kan man vente å finne et tiltagende oksygenforbruk i bunnsjiktet. Det er ellers av interesse å klarlegge oksygenets metningsgrad i vannet.

#### Spesifikk elektrolytisk ledningsevne, $\mu S/cm$

Vannets elektrolytiske ledningsevne gir et mål for elektrolyttinnholdet, eller enklere, vannets totale saltinnhold. De ioner som fremfor

alt er betydningsfulle for vannets saltinnhold, pleier å bli benevnt som hovedkomponenter og omfatter  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$  på kationsiden og  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  og  $\text{SO}_4^{--}$  på anionsiden. I enkelte tilfeller påvirkes også ledningsevnen av organiske syrer og hydrogenioner (spesielt i sure myr vann). Ionene (elektrolyttene) tilføres vannet med nedbøren (dette gjelder særlig  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  og  $\text{Cl}^-$ ) og ved utlakingsprosesser i nedbørområdet. Vannets ionesammensetning og saltinnhold er således avhengig av faktorer som nedbørens kjemiske sammensetning, de løse jordlagene og berggrunnens beskaffenhet i nedbørområdet, forholdet mellom nedbør og avdunsting og bidrag fra menneskelig aktivitet (forurensninger m.m.). Hertil kommer også biologiske- og spesielt for innsjøene, morfologiske forhold inn.

Når det gjelder å gi en generell karakteristikk av et naturvann, er saltinnholdet av betydning ettersom dette gir informasjon om i hvilken grad en vannforekomst påvirkes av nedbørområdet (fjell, skog, dyrket jord osv.), nedbør og eventuelle forurensninger. Videre kan en ved å studere årsvariasjoner i vannets saltinnhold få et visst kjennskap til f.eks. en innsjøes biologiske og kjemiske stoffomsetning. Der det er om å gjøre å kartlegge f.eks. en forurensnings spredning i vannmassene, kan ledningsevnen være en brukbar parameter. Målinger av vannets saltinnhold er spesielt viktig ved vurdering av ionebytteprosesser og tap av salter fra nedbørfeltet.

Av de ovenfor nevnte ionene er  $\text{Ca}^{++}$  ionene mest variable med verdier fra ca. 1 mg/l i sure vann til 100 mg/l i særlig kalkrike vann. Kalsium er av spesiell biologisk interesse ettersom flere dyregrupper synes å være direkte avhengig av vannets Ca-innhold for å kunne eksistere. Det har videre vist seg at organismenes (f.eks. fisk) motstandskraft mot unormale forhold (f.eks. giftvirkning av tungmetaller) øker når kalkinnholdet øker. Kalkinnholdet eller vannets hårdhet ( $\text{CaO} + \text{MgO}/\text{l}$  eller også uttrykt som  $\text{dH}^\circ$ , dvs. 10 mg  $\text{CaO}/\text{l}$ ) er av spesiell interesse når det gjelder å vurdere vannets kvalitet som drikke- og industrivann (særlig for vaskerier). Kalksaltene bindes til fett-syrene i såpe og reduserer derved skumdannelsen hvis kalkinnholdet er høyt. Saltinnholdet og særlig kalkinnholdet er dessuten ytterst viktig for vannets bufferevne. Elektrolyttfattig vann finner man i områder hvor nedbørfeltet er bygd opp av harde bergarter og ofte i innsjøer med svært lite nedbørområde. I vannforekomster i skog- og

lavlandsområder ligger verdier for ledningsevnen oftest mellom 20 og 40  $\mu\text{S}$ . Avrenningsvann fra kalkrike jordbruksområder eller vann som påvirkes av forurensning, har ofte et elektrolyttinnhold som tilsvarer en elektrolytisk ledningsevne på 100 - 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

I denne forbindelse er den spes.el. ledningsevne benyttet som parameter for å klarlegge overføringsvannets forplantningsbilde inn Savalen.

#### Vannets surhetsgrad, pH

pH er et mål for vannets konsentrasjon (eller rettere for aktiviteten) av hydrogenioner. pH reguleres i de fleste tilfeller av buffersystemet:  $\text{CO}_2\text{-HCO}_3\text{-CO}_3$  (karbondioksyd-bikarbonat-karbonat-systemet). Vannet betegnes som surt når pH-verdien ligger under 7, og som basisk når verdien overstiger 7. Når karbondioksydverdien ( $\text{CO}_2$ ) øker, avtar pH-verdien, og vannet blir surere. Ved at karbondioksyd ( $\text{CO}_2$ ) forbrukes ved algenes og vannplantenes assimilasjon (solenergi +  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{O}_2 - \text{C}$  (organisk) skjer en relativ økning av bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) og karbonat ( $\text{CO}_3$ )-verdiene; pH øker samtidig som oksygen ( $\text{O}_2$ ) frigjøres. Ved dyrenes respirasjon og i en viss utstrekning ved nedbrytning av organisk materiale forbrukes oksygen, og karbondioksyd frigjøres; pH avtar. Særlig i næringsrike (eutrofe) innsjøer med rikelige alge- og vegetasjonsforekomster der ikke bare den fri karbondioksyden, men også den halvbundne karbonsyren ( $\text{HCO}_3$ ) forbrukes ved assimilasjonen, finner man derfor en utpreget døgnvariasjon for pH. Høyeste verdi for pH vil da forekomme om dagen - ofte kan man da måle pH-verdier på 9 - 10 (assimilasjonsperioden). Laveste pH-verdi forekommer om natten, og da spesielt den siste delen av natten.

I kalk- og bikarbonatfattige vann, mer eller mindre påvirket av organisk materiale (humus), spiller humus-syrene dessuten en viktig rolle for pH, og i ekstra sure myrvann (tjern) med høyt humusinnhold synes karbondioksydinnholdet å være av underordnet betydning for pH sammenliknet med humus-syrer og andre organiske syrer. pH henger videre sammen med vannets saltinnhold (ioner, elektrolytter). Jo høyere saltinnholdet er (særlig kalsium), jo mer buffret er vannet. Dette medfører høyere og stabilere pH-verdier.



Ved å måle pH, kan man få informasjoner om hvilke biologiske forandringer som foregår i vannet. Videre er pH en viktig økologisk faktor idet de forskjellige organismer og organismesamfunn har bestemte toleransegrenser. Stort sett kan man si at pH-verdier under 5 og over 8 virker skadelig og i mange tilfeller til og med dødelig for flere av organismene som lever i vann (akvatiske). pH-verdien har videre betydning når det gjelder å utnytte vannet som drikke- og industrivann, ettersom surt vann, i høyere grad enn basisk, virker korroderende på metaller og da spesielt på kobber som bl.a. gir vannet dårlig smak.

I dette tilfelle er pH-forholdene i vannmassene først og fremst undersøkt fordi en hadde mistanke om at Savalen ble tilført større humusmengder, dette ville kunne gi seg utslag i en viss pH-senkning i de påvirkede deler.

### Farge

Vannets farge forårsakes av flere faktorer, så som egenfarge, oppløste stoffer i vannet, suspenderte partikler, fluorescenseffekter og refleks fra bunnen hvis dypet ikke er for stort. Av disse faktorene er det de oppløste stoffene og suspenderte partiklene som ansees å ha størst betydning. Overflatevannet inneholder alltid større eller mindre mengder fargede substanser. Disse tilføres til dels fra nædbørområdet, dels er de et resultat av nedbrytning av planter og dyr som produseres i vannforekomstene. Spesielt humusstoffene, som i form av sure kolloider av organisk natur, blir tilført innsjøene og vassdragene fra skog- og myrområder i omgivelsene, brunfarger vannet i høy grad og må derfor kanskje ansees som den viktigste faktoren når det gjelder vannets farge. De fargestoffer som oppstår i innsjøen, går noe mer i gulgrønt og setter sjelden sitt preg på vannet i samme grad som humusstoffene gjør det. Unntak fra denne regel er de innsjøer og vassdrag som har en stor forekomst av planteplankton, som i høy grad påvirker fargen på vannet (grønn, gul, brun og rød). Innsjøer og vassdrag som får tilført store mengder av breslam, blir sterkt påvirket av slampartikler, og vannet får en grønnaktig farge. Erosjonsmateriale fra leireområder gir vannet et grumset og gråaktig utseende. I humusfargede vann spiller også pH-forholdene en viss rolle, da lave pH-verdier gir en svakere brunfarge enn høye pH-verdier gjør. Videre synes en kort oppholdstid av vannmassene å gi høyere fargeverdi enn en lang. Dette har sammenheng med at humusstoffene er av organisk natur og blir utsatt

for biogen og kjemisk (UV-lys) nedbrytning, som igjen er avhengig av tiden. Utfellingsprosesser er også viktige. Fargen gir i en viss utstrekning uttrykk for en innsjøes organiske belastning, og får herved nær forbindelse med f.eks. kaliumpermanganatforbruket ( $\text{KMnO}_4$ ) for så vidt som høye fargeverdier oftest korresponderer med høye permanganattall.

For vannets plante- og dyreliv, spesielt for de lyskrevende plantene, har vannfargen stor betydning ettersom lysforholdene (siktedypet) raskt blir dårligere når vannfargen øker. Derved minker den produktive del av vannmassen og bunnflaten. Sterkt brunfargede vannforekomster er derfor i alminnelighet lite produktive.

For å få ytterligere informasjoner kan en filtrere vannet og deretter utføre fargemålinger på nytt. Herved får en forståelsen av i hvilken grad partiklene (alger, leire osv.) i vannet bidrar til fargeverdiene.

Fargen på vannet gir informasjoner om vesentlige egenskaper ved vannet med hensyn til lysforhold, omsetningstid, humusinnhold, produksjon m.m. Særlig ved regionale undersøkelser er fargestyrken en betydningsfull faktor for et vanns eller vassdrags karakteristikk. Normalt finner en fargeverdier omkring 10 mg Pt/l i næringsfattige (oligotrofe) innsjøer og vassdrag som ikke påvirkes av myrvann. I skogområdene ligger verdiene ofte omkring 30-40. I små innsjøer og elver (bekker) som er påvirket av myrvann, kan en finne så høye verdier som 200 mg Pt/l.

Vann med høy fargeverdi passer dårlig til drikkevann og industrivann (misfarger bl.a. massen ved celluloseindustrien osv.). I forbindelse med denne undersøkelsen har en også analysert vannets farge for å studere overføringsvannets fordeling i Savalen. En vil samtidig også få en oppfatning av om sjøen påvirkes av leire og/eller humusstoffer.

#### Kaliumpermanganatforbruk, $\text{KMnO}_4$

Kaliumpermanganatforbruket i en vannforekomst gir et relativt bilde av innholdet av organisk substans. Normalt regner en med at ca. 40% av det totale organiske stoffinnhold oksyderes ved denne metodikk.

En hel del organiske stoffer brytes ned både kjemisk og biologisk, men enkelte substanser oksyderes bare kjemisk og andre bare biologisk. Som eksempel på substanser som hovedsaklig bare nedbrytes kjemisk, kan nevnes humusstoffene i innsjøer og vassdrag som ligger i myr- og skogområder. En direkte forbindelse mellom vannets farge og permanganatforbruk foreligger derfor vanligvis. Når forbruket  $\text{KMnO}_4$  mg/l : mg Pt/l klart overskrider 1, påviser dette som oftest mer eller mindre unormal belastning av ufargede, organiske stoffer (forurensning).

En vannforekomst tilføres organisk substans på to måter, dels ved planktonets og andre levende vannorganismers omsetning av næringsstoffer samt ved nedbrytning av levende organismer, og dels fra nedbørfeltet ved tilførsel av diverse organisk materiale så som humus, løv m.m.

I naturvann foreligger den organiske substans først og fremst i løst og i kolloidal form. En kjenner lite til det organiske materialets betydning for organismelivet, organismenes stoffomsetning og produksjonskapasitet. Normalt finner en permanganatverdier fra 0 - 10 mg O/l i våre upåvirkede naturvann, med de høyeste verdiene i humusrike vannforekomster. Høye verdier tyder oftest på stor organisk belastning (forurensning) med medfølgende oksygenforbruk. Permanganatverdien har derfor betydning ved studier og kartlegging av forurensningsutslipp av organisk stoff fra industri, jordbruk og kommunalt avløpsvann. Drikke- og industrivann bør ikke ha verdier som overstiger 40 mg  $\text{KMnO}_4$ /l (dvs. ca. 10 mg O/l).

I forbindelse med denne undersøkelse er permanganatforbruket undersøkt for å påvise en eventuell humustilførsel eller tilførsel av annet organisk materiale til Savalen.

### Siktedyp

Med en innsjøs gjennomskinnelighet eller siktedyp menes det dyp hvor en nedsenket, horisontal, hvit skive (Secchi-skive) blir usynlig fra vannoverflaten. Til tross for at metoden er beheftet med atskillige feilkilder, gir den et verdifullt mål på vannets optiske egenskaper. Siktedyp er avhengig av graden av leire-, slam- eller planktontilgrumsingen, og også av vannets farge. Variasjonen i løpet av året kan derved være meget stor, men det forekommer også en variasjon i løpet av døgnet på grunn av vekslende lysklima.

Gjennom siktedypbestemmelsen får man kjennskap til hvor langt lyset trenger ned i vannmassen, da man regner med at siktedypet tilsværer det nivået hvor bare ca. 5% av det innfalle sollyset når. Ved at plantene er avhengig av sollyset for sin assimilasjon, kan man ved måling av siktedyp få kjennskap til en innsjøs algeproduserende vannmasse. Videre er siktedypet i høy grad en funksjon av innsjøens omgivelser og produksjonskapasitet og kan derved gi viktig informasjon om disse forholdene (tilførsel av salter, leirepartikler, humus-stoffer, plantenæringsstoffer m.m.). Ved kartlegging av forurensningsutslipp kan også siktedypsmålinger være et bra hjelpemiddel.

De høyeste verdier for siktedypet (10-40m) finner en i lavtproduserende innsjøer i sterile fjell- og bergområder. I breslam-grumsete innsjøer kan imidlertid siktedypet reduseres til bare noen desimeter. Normalt finner en et siktedyp på 5-10 m i våre upåvirkede vannforekomster i lavlandet. Spesielt humusrike og høyproduktive (planteplanktonrike) og ofte leingrumsete innsjøer pleier å ha siktedyp på mellom 1 og 3 meter.

### Tørrstoff og gløderest

Tørrstoff er et mål for vannets innhold av frafiltrerbare organiske og uorganiske partikler (sestoninnholdet). Ved også å bestemme gløderesten får man informasjon om i hvilken grad disse partikler består av organisk- eller mineralogisk materiale.

Under normale forhold består sestoninnholdet av organisk materiale i form av plante- og dyreplankton. I mer myrpåvirkede innsjøer og i små tjern og dammer spiller også humuspartiklene en viktig rolle. I vass-

drag er ofte innslag av uorganisk materiale i form av leirpartikler og finere sand mer vanlig. Organisk materiale som humuspartikler og fragmenter fra bunnvegetasjonen kan også være av betydning og da spesielt i myrpåvirkede vassdrag. Under flomperioder og i forbindelse med utvasking av breslam får innsjøer og spesielt vassdrag ofte et høyt innhold av uorganisk seston.

I forbindelse med ulike forurensningspåvirkninger kan innsjøer og vassdrag tilføres store mengder både organisk og uorganisk materiale. Som eksempel på en forurensningskilde som øker vannets innhold av organisk seston kraftig, kan nevnes celluloseindustrien (fiber). Grubedriften er et eksempel på en forurensningskilde som kan bidra til å øke vannets uorganiske partikkelinnhold.

Kvalitet og kvantitet av organiske og uorganiske partikler er således avhengig av type vannforekomst, f.eks. prøver fra elv eller innsjø, fra kloakk- eller industriutslipp, ved flom eller normal vannstand osv.

Ved å bestemme vannets tørrstoffinnhold og gløderest, kan man således få god informasjon om den partikkelbelastning som foreligger, og i hvilken grad denne kan settes i forbindelse med de naturlige forhold eller med forurensningspåvirkninger. Ved belastnings- og transportberegninger for prognosering er tørrstoff- og gløderestbestemmelsene viktige, og da spesielt ved studier av forurensningspåvirkninger. Parameteren kan også med fordel anvendes for å spore omfanget av en eventuell påvirkning i vassdrag, innsjøer og fjorder.

#### 4. RESULTATER

##### 4.1. Temperatur

Temperaturfordelingen innenfor de undersøkte områdene fremgår av tabell 2 og fig. 2 og 3. Overføringsvannet hadde tydeligvis en lav temperatur ( $-0,1^{\circ}$ ) i forhold til Savalens hovedvannmasser, hvor vannets temperatur økte mot dypet. Temperaturforskjellen er spesielt markert i sjiktet mellom 5 og 10 meter. De relativt lave temperaturer ( $2 - 2,5^{\circ}$ ) i Savalens dypeste deler har sikkert sammenheng med en langvarig sirkulasjonsperiode om høsten og utover forvinteren. Dette tyder bl.a. på en sen islegging. Slike situasjoner er vanlige i større innsjøer som ligger utsatt til for vindpåvirkning. Det er vanskelig på grunn av denne ene undersøkelse å si med sikkerhet i hvilken grad det kalde overføringsvannet har medvirket til nedkjølingen av innsjøens dypere vannmasser. Sannsynligvis er denne effekt ubetydelig. Det kalde overføringsvannet setter derimot sitt preg på vannmassene i overflatelagene hvor en har en klar nedkjølingseffekt. Denne påvirkning er spesielt fremtredende ved overføringsutløpet i den sydvestre delen av sjøen og kan forfølges til området ved stasjon 5 i lengdesnitt 1 - 10 (fig. 2). Det markerte temperaturskille mellom 5 og 10 meter i vannmassene må sees i sammenheng med denne påvirkning. Denne tydelige temperatur-sjiktning kan påvises over store deler av sjøen (også på stasjon 11) og skulle derfor tyde på at størstedelen av Savalens overflatelag påvirkes av overføringsvannet.

Når det gjelder strømforholdene antyder observasjonsresultatene følgende hovedmønster:

Overføringsvannets gjennomstrømming skjer i overflatelagene. Dette skyldes vannets tetthetsforhold som påvirkes av temperaturen, d.v.s. det kalde og lettere overføringsvannet brer seg utover og blir liggende ovenpå noe varmere og tyngre vann (vann har sin største tetthet ved  $4^{\circ}\text{C}$ ). Noen strøm av betydning kan bare påvises like utenfor overføringsutløpet. I de sentrale deler av Savalen er det ingen markert strømpåvirkning. Dette bekrefter de to snittene A og B (fig. 3). I snittenes øvre sentrale deler finner en de laveste temperaturene, noe som muligens kan antyde en viss strømkonsentrasjon her. Snittene viser også noe lavere temperatur langs den sydlige stranden. Dette



Fig. 2 SAVALEN: Isolinjer for temperatur °C 24. og 25. mars 1972

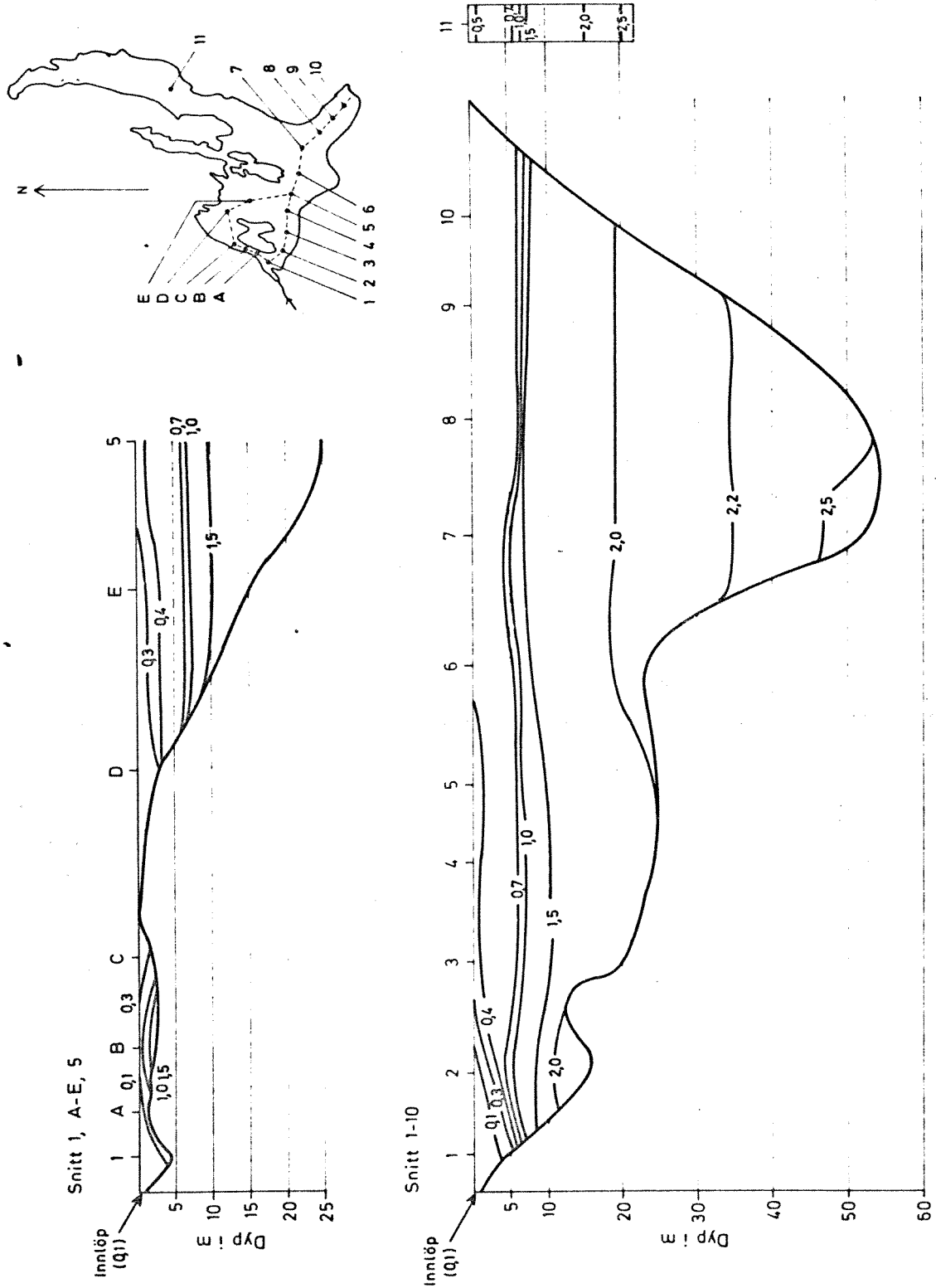
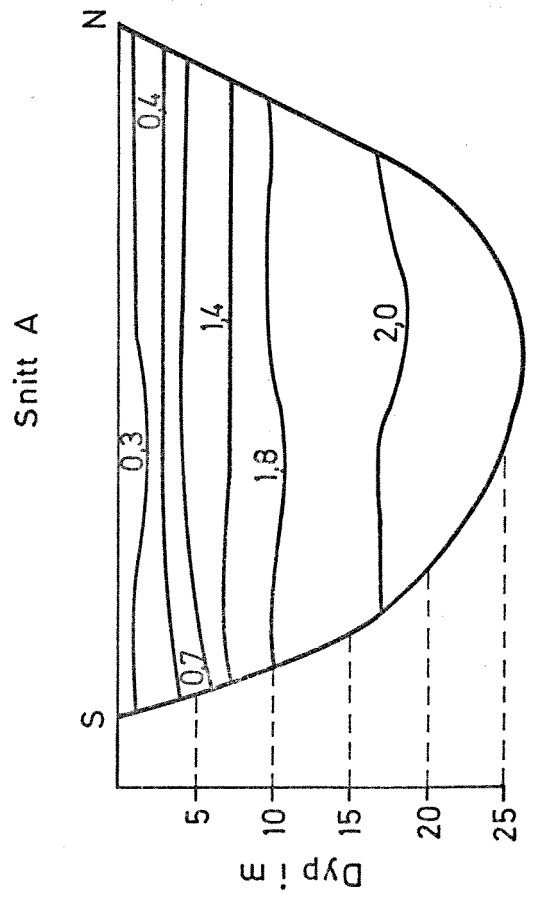
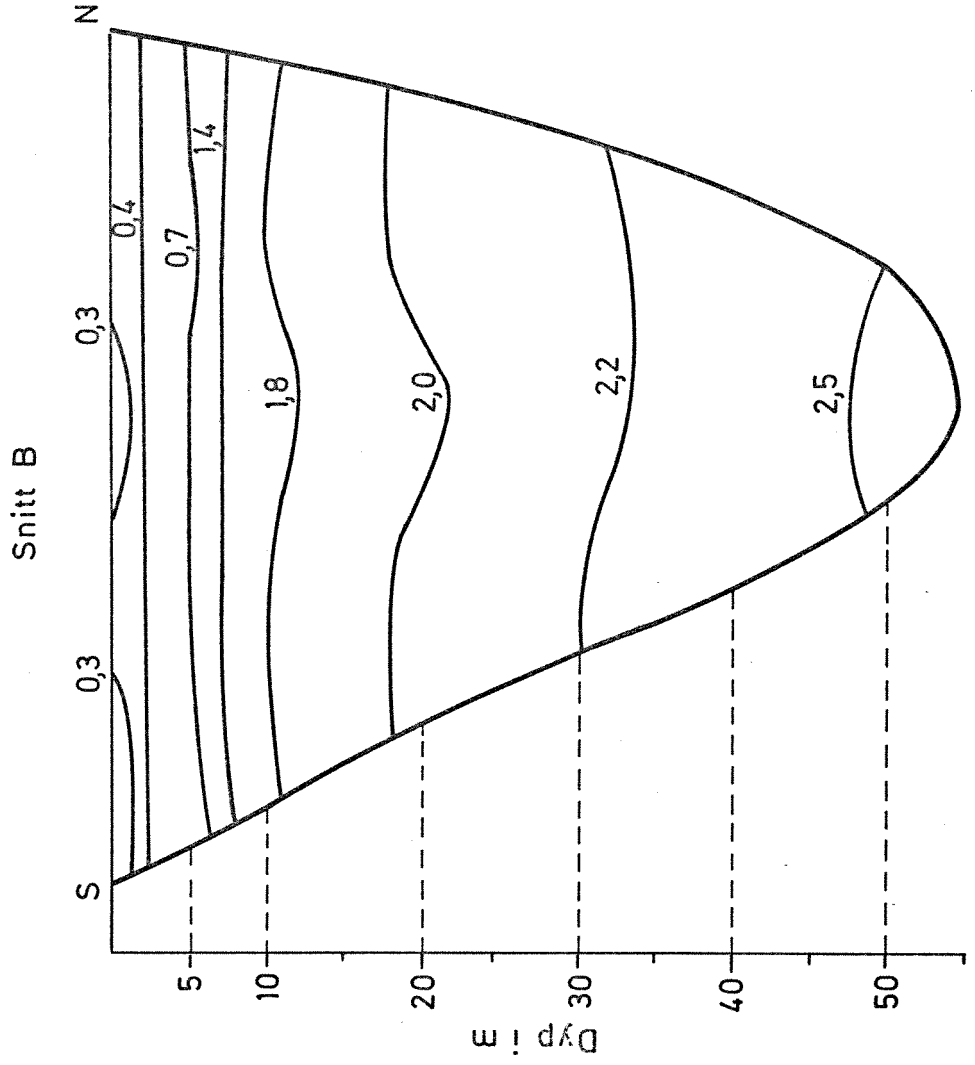




Fig. 3  
 Savalen 7. april 1972  
 Temperatur °C



kan skyldes tilrenning av nedkjølt vann fra stranden (på grunn av senkningen) og behøver ikke skyldes noen strømpåvirkning.

Resultatene tyder på at hovedgjennomstrømningen foregår i overflate-lagene gjennom Savalens hovedbasseng. Strømretningen følger stort sett snittet 1 - 10, d.v.s. en nord-sydøstlig strømretning. Det ble ikke påvist noen strøm fra overføringsutløpet mot Sandvika. Dette skyldes en terskel mellom stranden og Svarthugøy, som umuliggjorde en eventuell gjennomstrømning. Observasjonsresultatene tyder på at det var en utstrømning av kaldere, avkjølt vann fra det grunne Sandvikaområdet ut i hovedbassenget - noe som må sees i sammenheng med senkningen.

#### 4.2. Oksygen

Resultatene fra de utførte oksygenundersøkelsene er gjengitt i tabell 7. Resultatene viser at overføringsvannet på prøvetakingsdagen var kraftig overmettet med oksygen, og det ble målt verdier på opptil 20 mg O<sub>2</sub>/l, noe som tilsvarer en metningsverdi på ca. 130 %. Sannsynligvis kan dette settes i direkte sammenheng med en turbineffekt (innpisking av luft samt trykkforandringer). Bortsett fra ved stasjonene B og C ble det konstatert overmetning i overflatelagene ved samtlige stasjoner. Metningsverdiene ble gradvis mindre med økende avstand fra innløpet. Dette tyder på at overflatevannmassene i Savalen i høy grad påvirkes av overføringsvannet. Videre tyder observasjonsmaterialet på at hovedgjennomstrømningen (høyere metningsverdier) skjer langs hovedprofilen (stasjon 1-10). Disse resultater støtter altså de slutninger som det var naturlig å trekke ut fra temperaturobservasjonene.

Det høye oksygeninnholdet i bunnsjiktet viser at hele vannmassen er godt gjennomluftet og at det ikke foreligger noe større oksygenforbruk. Dette tyder på at innsjøen ikke mottar eller har mottatt noen større tilførsel av lett nedbrytbart organisk materiale (alloktont detritus) som eventuelt ville ha lagret seg i Savalens bunnsedimenter. En unntakelse fra dette er forholdene på stasjon 2 hvor oksygenforbruket synes å være mer markert. Dette kan ha sammenheng med en betydelig sedimentering av grovt alloktont detritus (løv, barnåler, pinner,

barkbiter m.m.) som har fulgt med overføringsvannet. De samme forhold burde kanskje i enda større grad gjelde stasjon 1, men ved denne stasjon når det overmettede overføringsvannet ned til bunnsjiktet, og en kan derfor ikke vente noen direkte effekt av dette her. Det er mulig at et lignende forhold, om dog i mindre grad, også gjør seg gjeldende på flere av de øvrige stasjoner.

#### 4.3. Spes.el.ledningsevne

Måleresultatene av vannets spes.el.ledningsevne eller elektrolyttinnhold i Savalens vannmasser fremgår av tabell 3 og fig. 4, som også viser overføringsvannets elektrolyttinnhold.

Som det fremgår av resultatene er elektrolyttinnholdet størst i overflatelagene, og det foreligger et tilsvarende sjiktningsmønster som for temperaturen. Vannsjiktet over 10 m er tydeligvis mest påvirket av overføringsvannet. Fra 5 til 10 meter er det en markert gradient fra høyere til lavere verdier.

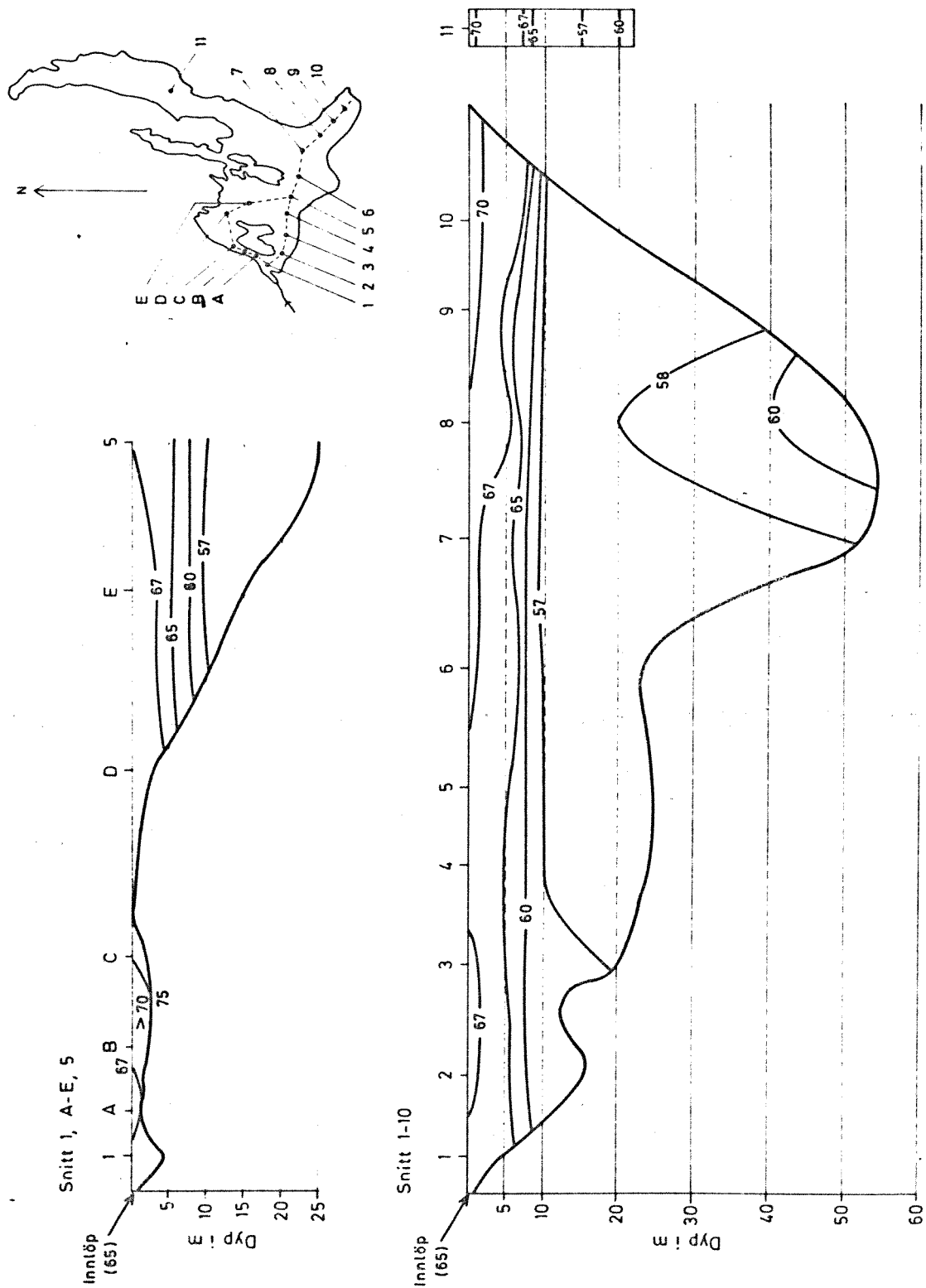
Verdiene for elektrolytisk ledningsevne i Savalen før reguleringsinngrepet (Borgstrøm) var betydelig lavere enn de som nå ble observert. Dette viser at overføringsvannet fra Einunna har medført en økning av vannets innhold av salter i Savalen.

Det bør imidlertid påpekes at senkningen av innsjøen kan bidra til å øke vannets elektrolyttinnhold p.g.a. ioneutvasking fra de berørte strandpartier. Det er vanskelig med utgangspunkt i det foreliggende materiale å avgjøre hvilken av disse faktorer som skaper den største påvirkning. De høye overflateverdiene ved bl.a. stasjon C, D, E og 11 antyder at senkningseffekten, i dette tilfelle, kan ha vel så stor betydning som vannoverføringen. Disse stasjoner er sannsynligvis i mindre grad påvirket av overføringsvannet.

Under den islagte perioden vil det normalt gjøre seg gjeldende en utfrysningseffekt (utfrysning av salter) i det øverste vannsjiktet like under isen, slik at elektrolyttinnholdet her blir noe høyere. Denne effekten er likevel så ubetydelig og begrenset at den på ingen måte kan forårsake de forhold som hersket på prøvetakingsdagen.



Fig. 4. SAVALEN : Isolinjer for spes. el. ledningsevne  $\mu\text{S}/\text{cm}$  20°C 24. og 25. mars 1972



#### 4.4. Surhetsgrad (pH)

pH-forholdene i overføringsvannet og i Savalens vannmasser fremgår av tabell 4 og 5. Analyseresultatene gir ingen informasjon om at det foreligger noen direkte virkning av reguleringsinngrepet. Verdiene viser en naturlig pH-fordeling i Savalen med avtakende verdier mot bunnen. Disse forholdene er stort sett identiske med hva Borgstrøm har funnet, på tilsvarende tidspunkt, før regulerings- og overførings-effektene gjorde seg gjeldende i Savalen. Overføringsvannet hadde på prøvetakingstidspunktet noe høyere pH-verdi enn vannet i Savalen. Analyseresultatene tyder på at det ikke kan være noen større tilførsel av humus eller annet lett nedbrytbart organisk materiale.

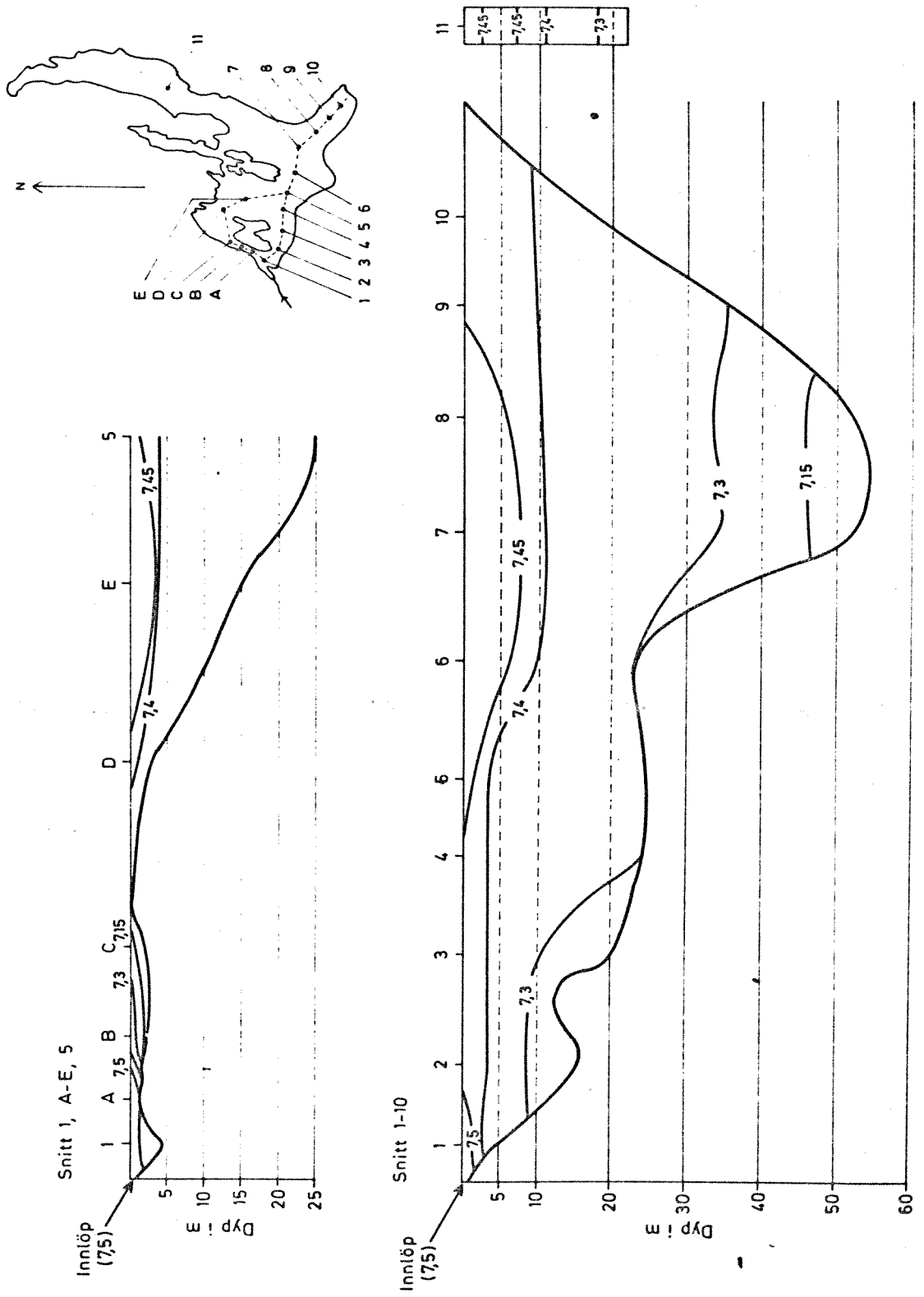
#### 4.5. Farge

Overføringsvannets farge og vannfargens fordeling i Savalens vannmasser fremgår av tabell 5 og figur 6. Som tabellen og figuren viser, er Savalens øverste vannsjikt kraftig påvirket, og for innsjøtypen er det unormalt høye fargeverdier. Påvirkningsbildet viser det samme mønster som for temperatur og elektrolyttverdiene. En har den største påvirkning ved overføringsinnløpet, med en gradvis avtaking utover i Savalens vannmasser. Med unntakelse fra området ved innløpet synes de dypereliggende vannmasser i liten grad å være påvirket. De fargeverdier en har på større dyp, vil derfor kunne gi et bilde av hva som antakelig var det normale for Savalen, d.v.s. innsjøens fargeverdier før den ble utsatt for reguleringsinngrep. Dette skulle innebære at fargeverdiene i Savalen har ligget litt under 10, som erfaringsmessig skulle stemme overens med de forhold man normalt har i denne type innsjøer.

Ved en senkning av innsjøen kan en forvente en viss fargeøkning, idet slam- og leirepartikler vaskes ut fra strendene. I dette tilfelle tyder resultatene på at materialet som forårsaker fargeøkningen i vesentlig grad blir tilført via overføringsvannet. Dette bekrefter de noe lavere fargeverdier ved stasjonene D, E og 11, som er mindre påvirket av overføringsvannet. Overflatevannets (like under isen) gråaktige utseende samt at det øverste sjikt har de høyeste fargeverdier, tyder på at det er ytterst små og fine (lav sedimenterings-



Fig. 5 SAVALEN : Isoliner for pH-verdier 24. og 25. mars 1972





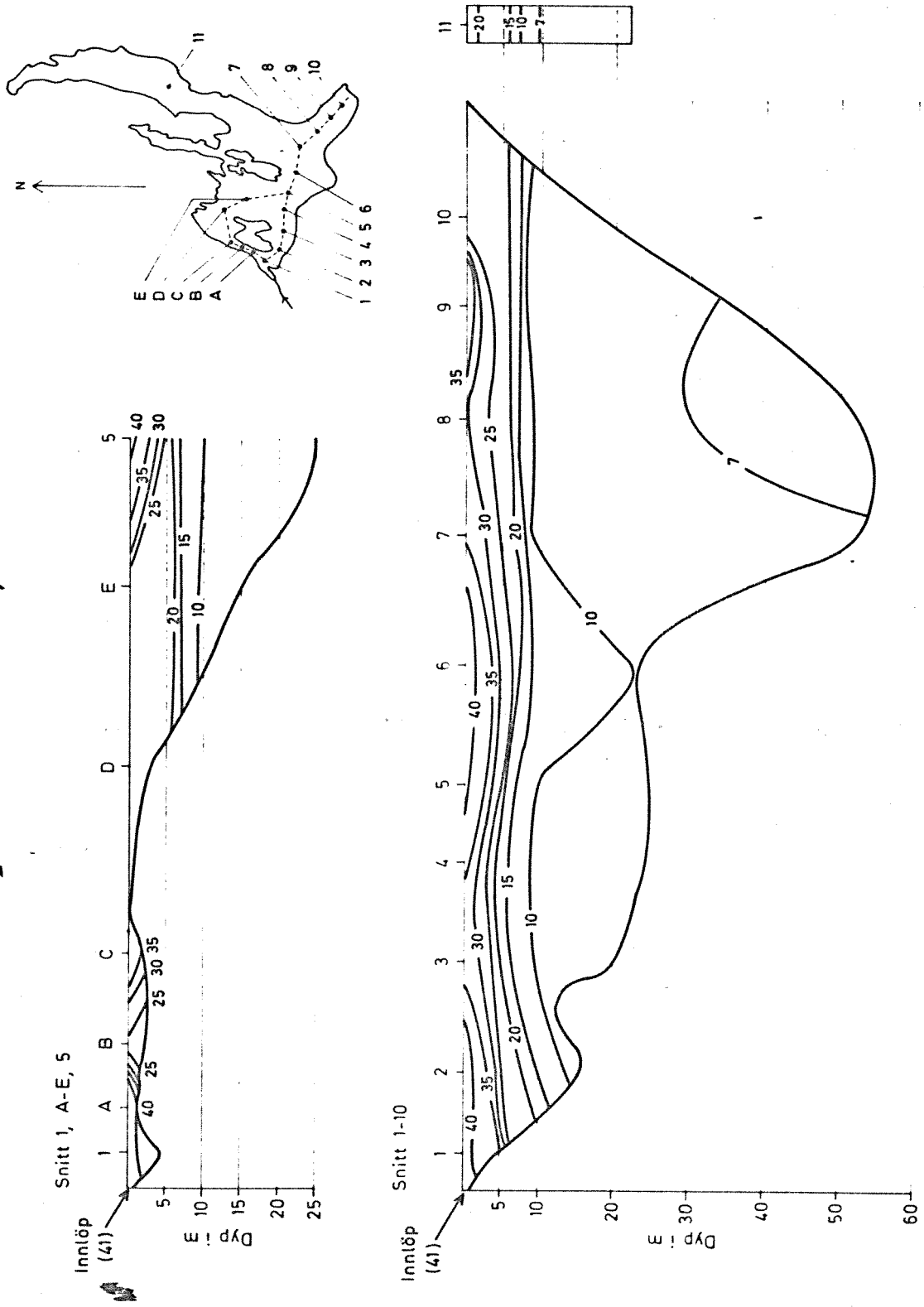
Tabell 5.

Savalen 24. og 25. mars 1972

Farge-verdier

Stasjon Dyp i m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	A	B	C	D	E	Einunna innløp Savalen
1	42	43	33	35	42	41	34	30	35	19	21	40	24	39	21	22	41
2	37	35											24				
3	39														23	22	
5	42		20	16	25	33	20	21	22	23	16					20	
6		21															
10		12	10	9	11	10	9	8	7	9	6					8	
15		11	8	31	9	10				11	4					8	
18																	
20			10				9	10	6		7						
24				14	12	10		7									
30							9		7								
35									7								
40							10	7									
50							10	7									

Fig 6 SAVALEN: Isolinjer for farge-verdier 24. og 25. mars 1972



hastighet) leirepartikler som i det vesentlige er årsak til den kraftige fargepåvirkningen. Ved en humuspåvirkning ville vannet hatt en mer brunlig fargetone.

#### 4.6. Permanganatforbruk (kjemisk oksygenforbruk)

Resultatene av permanganatanalysene fremgår av tabell 6. Alle verdiene er lave, noe som skulle tyde på at den organiske belastning er liten, både i overføringsvannet og i Savalens vannmasser. Da en ikke har referansedata fra tiden før reguleringsinngrepet, er det umulig å påvise eventuelle endringer p.g.a. inngrepet. Det er imidlertid meget sannsynlig at senkningen og vannoverføringen fra Einunna har ført til en viss økning av vannets innhold av organisk materiale, men påvirkningen må i så fall være liten. Forholdet mellom permanganattallet og vannets farge-verdi ligger langt under 1. Dette tyder på at det i vesentlig grad er uorganisk materiale som forårsaker vannets farge. Som tidligere nevnt er vannet sterkt belastet med uorganisk materiale i form av leirepartikler.

#### 4.7. Siktedyp

Siktedypsobservasjonene som er utført på stasjonene langs hovedprofilet (1-10) og ved lokalitet 11 (se figurer), fremgår av tabell 7.

Før reguleringen og overføringen av vann fra Einunna ble påbegynt, lå siktedypet i følge Borgstrøms måleresultater, i overkant av 10 meter i Savalens hovedbasseng. Dette er et forhold som kan betraktes som normalt for innsjøtypen, og viser at vannets partikkelinnhold var lavt.

Observasjonene nevnt ovenfor viser at siktedypet er kraftig redusert ved samtlige av de undersøkte lokaliteter. Observasjonsresultatene viser videre at siktedypverdiene øker med økende avstand fra tilløpet for overføringsvannet. Ved lokalitet 11, som kan antas å være minst påvirket av overføringsvannet, ble den største siktedypsverdien (4,5 m) målt.



Tabell 7.

Savalen 24. og 25. mars 1972

Siktedyp og oksygenobservasjoner

Stasjon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	A	B	C	D	E	Einunna innløp Savalen
Siktedyp i meter	0,70	2,0	2,0	2,0	2,5	3,0	3,2	3,0	3,0	3,0	4,5						
Oksygen	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	17,8	17,6	17,6	17,4	17,4	16,6	17,9	13,6	11,2	16,2	16,8	20,0
mg O <sub>2</sub> /l over bunnen	16,8	8,5	11,1	12,7	11,1	10,9	9,4	10,8	10,5	11,1	10,2					11,5	
Største stasjonsdyp	5m	15m	20m	24m	24m	24m	50m	50m	35m	18m	20m					15m	

Den kraftige reduksjonen av siktedypet må først og fremst sees i sammenheng med vannoverføringen. Det bør påpekes at også senkningen bidrar til å redusere siktedypet ved at diverse partikler vaskes ut fra de berørte strender. Den relative påvirkningsgraden av disse to effekter er det umulig å fastslå på grunnlag av det foreliggende observasjonsmaterialet.

#### 4.8. Tørrstoff og gløderest

Analysen gir opplysninger om mengden av de suspenderte partikler i Savalens overflatelag, samt den mengde som via overføringsvannet ble tilført innsjøen på prøvetakingsdagen.

I overflatelagene like under isen (1 meter) tilsvarte partikkelinnholdet 1,50 mg tørrstoff/l. Dette er for innsjøtypen en unormalt høy verdi. Disse partikler besto av 64 % uorganisk materiale og bare 36 % av organisk stoff. På 10 meters dyp var også partikkelinnholdet høyt selv om det var noe lavere enn i overflatelagene, verdiene her var 0,65 mg/l. Her var det uorganiske innslaget noe lavere og utgjorde 31 %.

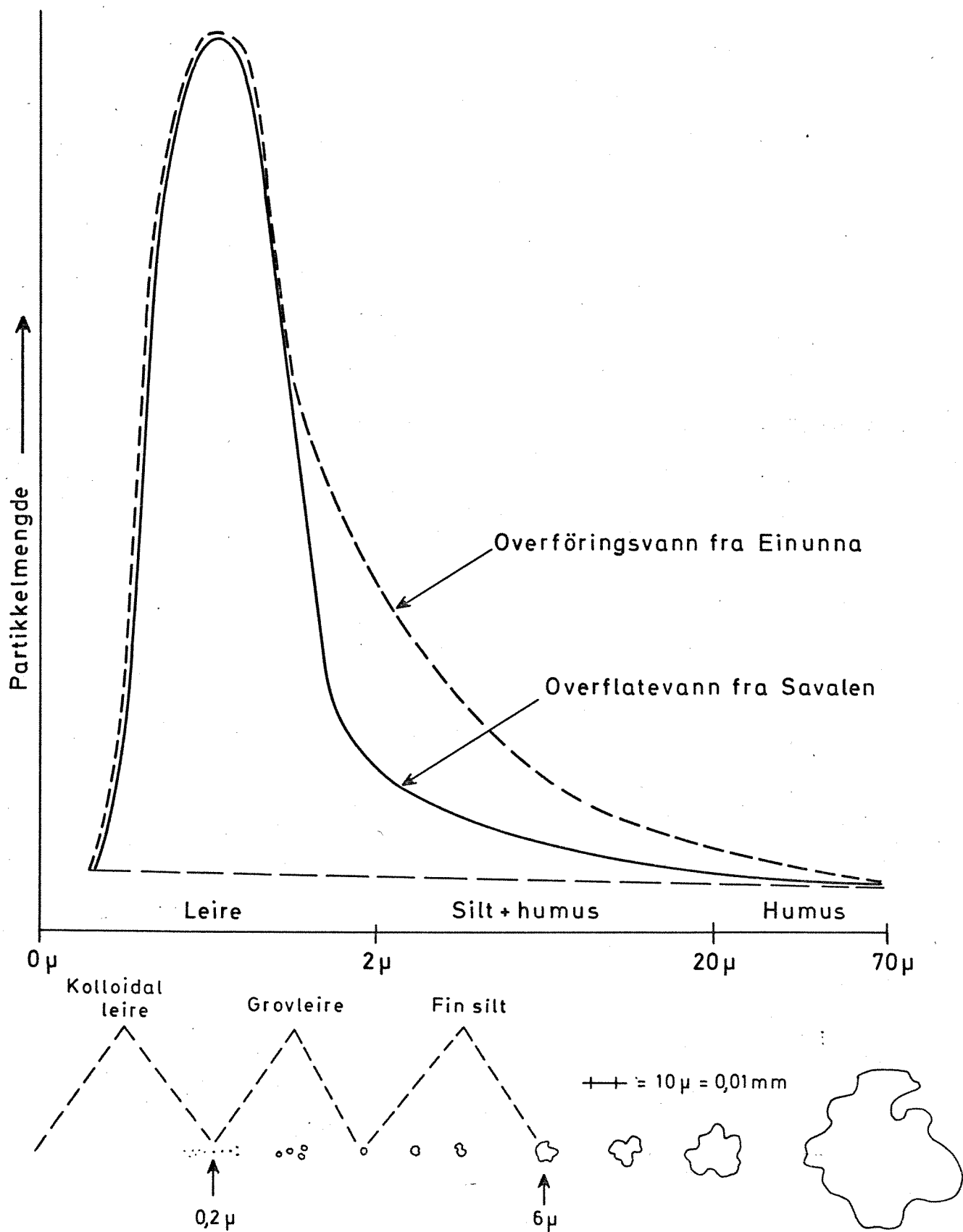
Resultatene bekrefter at den største påvirkning foreligger i overflatelagene - som som også fremgår av de øvrige parametre.

#### 4.9. Analyse av partikulært materiale

Analyseresultatene av det partikulære materiale, som ble utført ved hjelp av mikroskop og filtrering (filter med ulike poreåpninger) fremgår av fig. 7.

Undersøkelsene viser at mesteparten av det partikulære materiale som foreligger i overføringsvannet og i Savalens overflatelag, består av ytterst små leirepartikler. En stor del av disse partikler er så små at de foreligger i mer eller mindre kolloidal form. Dette betyr bl.a. at de har en meget lav sedimenteringahastighet. Som eksempel kan nevnes at en 1  $\mu$ -stor leirepartikkel ved 20°C og i stillestående vann synker med en hastighet av ca. 2 cm/døgn.

Fig.7 Partikulært materiale i overføringsvannet og i Savalens overflatelag



De noe større partikler som ble observert består i stor utstrekning av organisk materiale som humus og enkelte benthiske kiselalger (Diatomeer). Noen større humuspåvirkning foreligger ikke.

Det er god overensstemmelse mellom partikkelfordelingen i overføringsvannet og i Savalens overflatelag. Dette tyder på at vannoverføringen i vesentlig grad er årsak til den sterke belastning av partikulært materiale som nå foreligger i Savalens overflatelag.

## 5. KONKLUSJON

Den utførte undersøkelsen viser at Savalen tilføres betydelige mengder suspendert materiale (partikler). Dette materiale består først og fremst av små leirepartikler som delvis foreligger i kolloidal form. Noen særlig humuspåvirkning er ikke påvist.

Det høye partikkelinnholdet gir seg først og fremst til kjenne ved i sterk grad å forandre vannets optiske egenskaper - bl.a. forandrede lysforhold og redusert siktedyp. Videre er vannets fargeverdier betydelig høyere enn tidligere (Bongstrøm).

Hovedårsaken til det høye partikkelinnholdet er i første rekke vannoverføringen fra Einunna-Fundinmagasinet, men senkningseffektene bør også nevnes i denne sammenheng. Betydelige mengder partikulært materiale, særlig i form av leire, er via overføringen blitt tilført Savalen. Om dette partikkeltilskuddet er en funksjon av tappingen av Fundinmagasinet eller erosjonseffekter i selve Einunna i forbindelse med forandring av vintervannføringen, må klarlegges ved eventuelle kommende undersøkelser. Trolig er begge deler av betydning da store mengder lett eroderbare løsavsetninger finnes både ved Fundinmagasinet og langs den berørte del av Einunna.

Det er først og fremst de øvre vannlagene som påvirkes fordi overføringsvannet p.g.a. tetthetsforskjellen lagrer seg inn i og strømmer gjennom i overflatelagene. Påvirkningen som er mest markert i umiddelbar nærhet av innløpet, kan også spores på fjerntliggende steder i innsjøens øvre vannlag. Med unntak av området nærmest innløpet



ble det ikke påvist noen direkte strømmer, men det synes som om overføringsvannet passerer innsjøen i sydøstlig retning uten at det skjer noen større omblanding, d.v.s. overføringsvannet strømmer igjennom i overflatelagene.

Det synes ikke å ha gjort seg gjeldende noen utpreget sedimentering i selve Savalen hvor det høyeste partikkelinnholdet ble målt umiddelbart under isen. Dette har til dels sammenheng med at oksygenbobler (blærer) dannes på partiklene (disse bobler kan bare dannes i nærver av noe substrat) og på den måten ytterligere sinker deres sedimenteringshastighet, eller i enkelte tilfeller til og med løfter partiklene opp mot overflaten (isdekket).

En grov beregning viser at ca. 100 tonn partikler fantes i suspensjon i Savalens øverste vannsjikt (0 - 10 meter), samt at noe over 1 tonn pr. døgn ble tilført med overføringsvannet på prøvetakingstidspunktet.

Det kan her også nevnes at vannoverføringen til en viss grad har bidradd til å høyne vannets elektrolyttinnhold i Savalen, samt i noen grad å forandre den temperatursjiktning som normalt fremkommer under vinterstagnasjonen (jfr. Borgstrøm).

## 6. GENERELLE ASPEKTER

Fig. 8 er laget med henblikk på i noen grad å belyse de limnologiske effekter og de mer praktiske konsekvenser som den økte tilførsel av leirslam til Savalen medfører. Figuren behandler bare de virkninger som det tilførte suspenderte leirslammet kan få, d.v.s. de effekter som selve senkingen av innsjøen medfører med tørrlegging og utvasking av strandsonen, er ikke tatt med (til informasjon om dette henvises til Borgstrøms rapport som berører nettopp disse forhold).

De alvorligste virkninger av de større slammengder i overflatelagene er at produksjonen av planteplankton og høyere vegetasjon avtar. Dette har først og fremst sin årsak i at lysforholdene blir dårligere ved at lysrefleksjonen øker og den nedtrengende lysmengde hurtig avtar, d.v.s. det produserende sjiktet minker. Lysenergien (sollyset) er som tidligere nevnt energikilden for vegetasjonens fotosyntese. En direkte nedslamming av den høyere vegetasjonen og de fastsittende alger (*Periphyton*) kan videre komme på tale, hvilket også vil føre til dårligere produksjon.

Da de øvrige organismesamfunn i en innsjø som Savalen er direkte (primærkosumentene) eller indirekte (sekundærkonsumentene) avhengig av de grønne planters produksjon, vil en forandring av planteproduksjonen umiddelbart påvirke det øvrige organismesamfunn.

Som det fremgår av figuren fører redusert planteproduksjon til dårligere næringstilgang for bakterier, dyreplankton og bunndyr, hvilket i sin tur medfører en lavere produksjon for disse grupper. For bunndyrene kan også en forandring av bunnssubstratet på grunn av større islett av sedimentert uorganisk materiale være uheldig. For de filtrerende dyreplanktonartene kan det økte partikkelinnhold føre til et dårligere næringsopptak.

I og med at fisken hovedsaklig søker sin føde blant dyreplanktonet (spes. røyen) og bunndyrene (spes. auren) (jfr. med Borgstrøm), kommer således en reduksjon av disse grupper til å medføre et mindre næringstilbud for fisken, noe som igjen bl.a. medfører dårligere tilvekst.

Som det går fram av det som er sagt ovenfor, vil den økte slamtilførselen medføre at livsvilkårene for fisken blir ytterligere forverret utover den påvirkning som reguleringen medfører (se Borgstrøm). De mer praktiske konsekvenser skulle altså bli et dårligere fiske i det minste hva fiskens størrelse og kvalitet angår.

Utover det som er nevnt ovenfor, bidrar det reduserte siktedyp og vannets partikkelinnhold til å minske gleden ved fisket og da spesielt i sammenheng med pilkefiske etter røye fra isen. I klare fjellvann er det mulig å se fisken, og dette er en vesentlig del av gleden.

Ved denne undersøkelsen er ikke kilden til slampåvirkningen klarlagt. Derfor er det vanskelig å bedømme i hvilken utstrekning liknende forhold kan gjøre seg gjeldende til andre årstider samt i fremtiden. Sannsynligvis vil slampåvirkningen avta med tiden, og påvirkningen vil etter hvert opphøre. Dette gjelder både overføringsvannet og reguleringseffektene.

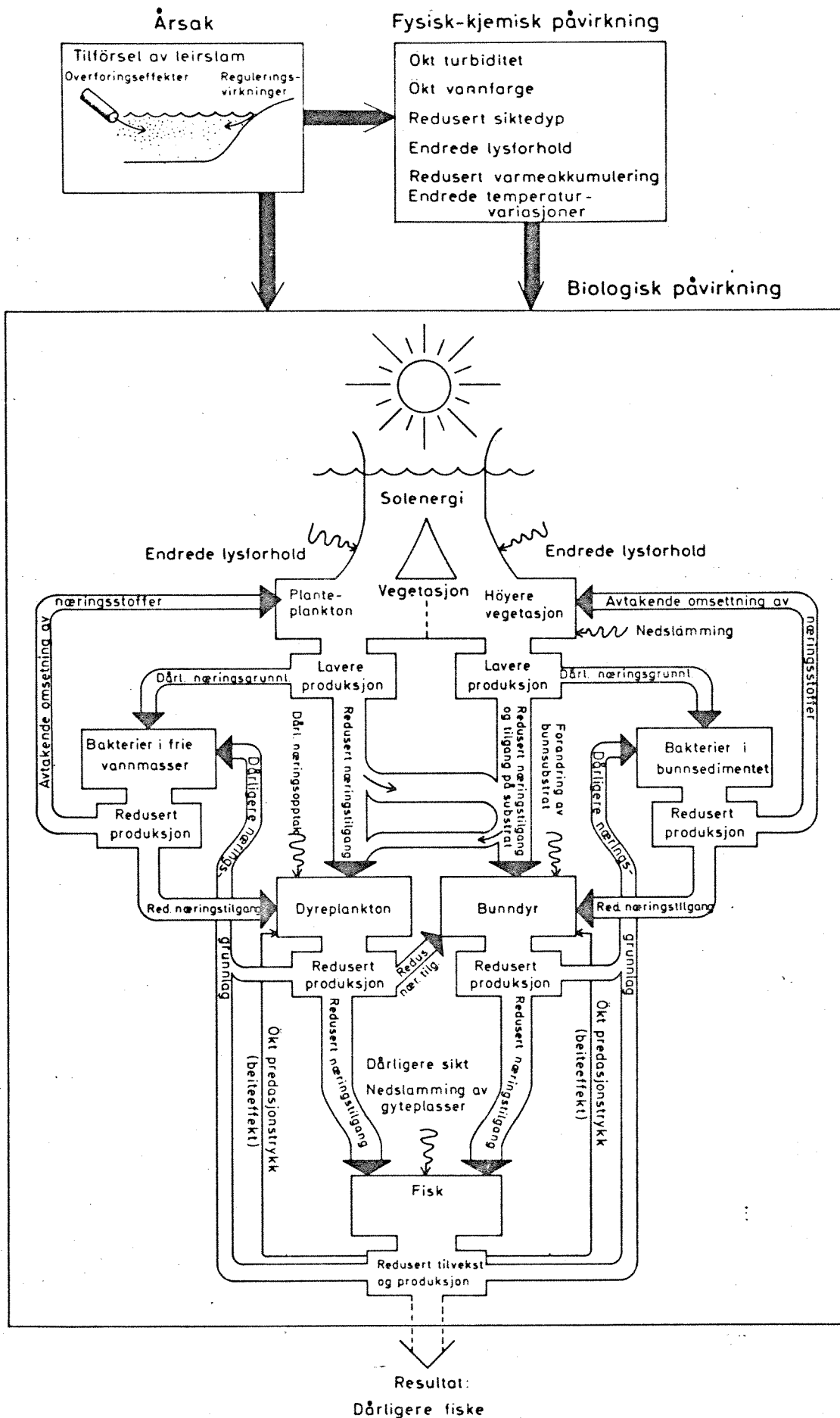
Da en eventuell slampåvirkning i de øvre vannsjikt vil ha de største biologiske konsekvenser under produksjonsperioden om sommeren, er det meget viktig å undersøke forholdene på denne årstid.

På bakgrunn av erfaringer fra tilsvarende reguleringer samt undersøkelser av innsjøer som er påvirket av breslam, kan enkelte hypoteser angående utviklingen påpekes. Noen direkte erfaringer av overførings-effekter i likhet med hva som her er tilfelle, foreligger dessverre ikke.

Hvis den store slamtransporten er forårsaket av en endret vintervannføring, vil påvirkningen om sommeren sannsynligvis bli liten, og noen alvorligere biologiske konsekvenser vil således ikke oppstå under denne tidsperiode.

Hvis reguleringen av Fundinmagasiner er hovedårsaken til slampåvirkningen, vil effektene bli spesielt markerte under tappingsperiodene av dette magasin. I tilfelle tappingen skulle foregå om sommeren, kan en større slamtilførsel til Savalens overflatelag få betydelige biologiske konsekvenser.

Fig 8



Ved slamtilførsel under sommerperioden vil sannsynligvis partiklenes fordeling i Savalens vannmasser bli en annen enn den nåværende fordeling. Årsaken til dette er først og fremst en totalsirkulasjon i de øvre vannmasser, et mer markert sprangsjikt dannes under sommerstagnasjonen, sedimenteringshastigheten for leirpartiklene øker med økende temperatur samt at overmetningseffektene (oksygen) ikke vil bli like markert på grunn av en hurtigere utlufting og høyere vann-temperatur. Resultatene av dette kan bli at i hvert fall noen av de følgende påvirkningssituasjoner vil bli mulige under sommerperioden:

1. Hoveddelen av slampartiklene vil foreligge i de øvre vannmasser (epilimnion), med en ansamling like over sprangsjiktet.
2. Det samme som ovenfor, men partiklene er mer jevnt fordelt i vannmassene.
3. Slampartiklene vil fordele seg i hele vannmassen. Noe større partikkelinnhold i de øvre vannmasser vil bare gjøre seg gjeldende i nærheten av innløpet.

Erfaringsmessig er situasjon 1 den mest sannsynlige i dette tilfelle, men som tidligere nevnt kan bare en kompletterende undersøkelse bekrefte dette. Fra biologisk synsvinkel er situasjon 2 den minst ønskelige p.g.a. at dette fører til de største lysforandringer i vannmassene.

Vår og høst under fullsirkulasjonsperioder vil en eventuell slampåvirkning fordele seg i hele vannmassen.

Til slutt bør det også nevnes at en slik oksygenovermetning som forelå på prøvetakingsdagen, kan få biologiske konsekvenser. Dessverre er vår viten på dette området liten og derfor er det vanskelig å trekke noen direkte konklusjoner. Det skal imidlertid nevnes at bl.a. fiskedød lett kan inntreffe i vann som er overmettet med oksygen.